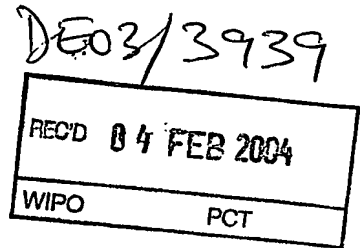


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Aktenzeichen:

102 58 662.4

Anmeldetag:

13. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber:

Forschungszentrum Jülich GmbH,
52428 Jülich/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen
Bildverarbeitung von CMOS-Kamerabildern

IPC:

H 04 N 5/335

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Z u s a m m e n f a s s u n g

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Bildverarbeitung von CMOS-Kamerabildern

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur digitalen Bildverarbeitung von CMOS-Kamerabildern.

- 5 CMOS-Kameras weisen bei der Aufnahme von sich bewegenden Objekten mit hohen Kontrasten einen Nachleuchteffekt auf. Dieser führt bei der Bildauswertung zu fehlerhaften Werten.

- 10 Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung ist es nunmehr möglich, eine verbesserte digitale Bildauswertung von CMOS-Kamerabildern zu ermöglichen. Durch Subtraktion einer definierten Abklingkonstante c multipliziert mit dem Ausgangssignal g von der zeitlichen Änderung des Ausgangssignalwerts kann der aktuelle Photostrom ohne Nachleuchteffekt ermittelt werden.
- 15

B e s c h r e i b u n g

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Bildverarbeitung von CMOS-Kamerabildern

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur digitalen Bildverarbeitung von CMOS-Kamerabildern.

- Um Bilder mit Rechnersystemen bearbeiten zu können, müssen sie in Datenformate umgesetzt werden, die rechnerkompatibel sind. Diese Umsetzung heißt Digitalisierung. In der digitalen Bildverarbeitung werden die Originalbilddaten in rechnerkonforme Datenformate transformiert. Sie stehen dann als zwei- oder mehrdimensionale Funktionen für die Bearbeitung zur Verfügung.
- Bei der Bildaufnahme wird eine kontinuierliche Szene räumlich diskretisiert. Eine Möglichkeit der mathematischen Beschreibung von digitalisierten Bilddaten ist die Notation als Bildmatrizen. Das Bild S (die Szene S) ist eine rechteckige Matrix (Bildmatrix) $S = (s(x, y))$ mit Bildzeilen und Bildspalten. Der Zeilenindex ist x und der Spaltenindex ist y . Der Bildpunkt (Pixel) an einer Stelle (Zeile, Spalte) $= (x, y)$ besitzt den Grauwert $s(x, y)$. Es werden also Elementarbereiche der Szene auf je ein Pixel der Bildmatrix abgebildet. Zur Digitalisierung von Bilddaten ist eine Rasterung und eine Quantisierung notwendig. Bei der Rasterung wird das zu digitalisierende Bild durch die Überlagerung mit einem rechteckigen oder quadratischen Gitter in Rasterflächenstücke unterteilt. Bei der Quantisierung wird jedem Rasterflächenstück ein Grauwert $s(x, y)$ aus einer Grau-

wertmenge G zugewiesen. Die Bestimmung dieses Grauwertes kann punktuell erfolgen oder durch Mittelung über die Rasterfläche.

Zur Erfassung digitaler Bilddaten werden neben CCD-Kameras vielfach auch CMOS-Kameras eingesetzt. Diese Kameras finden vielfältigen Einsatz in Wissenschaft und Industrie wie z. B. Crashaufnahmen und für die Überwachung schneller technischer Abläufe in der Produktion. CMOS-(Complementary Metal Oxide Semiconductor) Kameras verfügen gegenüber CCD-Bildsensoren über eine hohe Helligkeitsdynamik sowie höhere zulässige Betriebstemperaturen. Die auf die Photodioden der CMOS Kamera eintreffenden Lichtpartikel (Photonen) werden in elektrischen Strom umgewandelt. Den lichtempfindlichen Photodioden sind mehrere Transistoren beigeordnet. Die CMOS-Kamerapixel bestimmen ihren Grauwert (Signal) aus dem aktuellen Photostrom der Photodioden. Jeder Pixel kann einzeln gelesen und ausgewertet werden. Dies ermöglicht den wahlfreien Zugriff auf die jeweils interessanten Bildteile und hat insbesondere Vorteile in der industriellen Bildverarbeitung. Mit Hilfe von CMOS-Kameras können sehr hohe Bildraten erzielt werden (extreme Zeitlupe). Die Zugriffszeiten auf einzelne Pixel sind dabei naturgemäß sehr kurz, d. h. der aktuelle Photostrom hat nur eine sehr kurze Einstellzeit zur Verfügung.

Bei hohen Kontrasten und sich bewegenden, bzw. sich schnell verändernden Objekten, dominieren vor allem bei hohen Bildraten die noch nicht abgeklungenen starken Ströme von ehemals hellen Bildbereichen die jetzt dunkel gewordenen Signalbereiche. Die in der Pixelschaltung enthaltenen „parasitären“ Kapazitäten (siehe [4],

Kapitel 8.3) bewirken eine zeitliche Verschmierung des Pixelsignals. Dieser Effekt wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung als „kapazitiver Nachleuchteffekt“ bezeichnet. Die durch die üblicherweise logarithmische Darstellung der Werte sehr hohe Grauwertauflösung der Kamera ist dadurch stark reduziert, bzw. es werden stark fehlerbehaftete Werte geliefert. Bewegt sich beispielsweise ein helles Signal über einen relativ dunklen Hintergrund, z. B. ein Schweißpunkt über ein Blech, so zieht es einen Schweif hinter sich her (vgl. [4], S. 37). Dieser Schweif überdeckt den dunkleren Hintergrund. Möchte man z. B. beim Schweißen eines Bleches die Schweißnaht direkt hinter dem Schweißpunkt kontrollieren, so muß man warten, bis der Schweif von dem Nahtstück verschwunden ist.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, diesen nachteiligen Effekt des kapazitiven Nachleuchtens auf die Geschwindigkeit der Bildaufnahme zu korrigieren:

Durch eine mäßige Untergrundbeleuchtung kann die Entladung von hellen Pixeln deutlich beschleunigt werden. Ist die Bewegungsrichtung bekannt, kann ferner bei bestimmten Anwendungen, bei denen die Position von realen Objekten oder von projizierten Mustern erfaßt werden soll, die Analyse entgegen der Bewegungsrichtung erfolgen, d. h. man detektiert den schnellen Wechsel von dunkel auf hell. Diese Verfahren eignen sich allerdings nur bei bestimmten Anwendungen, wenn beispielsweise die Beleuchtung bzw. die gesamte Aufnahmesituation bekannt ist bzw. gesteuert werden kann. Die genannten Auswertestrategien können nicht sichtbare Signalanteile aber lediglich ignorieren bzw. umgehen, nicht rekonstruieren.

- Die Auswertung von optischen Prozessen wie z. B. für das Abklingen der Temperatur in Wärmebildern erfolgt mittels mathematischer Modelle. So ist beispielsweise aus [3], Fig.9 die Verwendung einer Differentialgleichung (DGL) bekannt. Bei diesem Verfahren werden die physikalischen Bedingungen der Bildaufnahme in einer DGL beschrieben und unbekannte Parameter dieser DGL numerisch geschätzt. Bekannte lokale Schätzverfahren sind hierbei u.a. „ordinary least squares (OLS)“, „total least squares (TLS)“ und „mixed OLS-TLS“ [5], die alle eine spezielle Ausprägung, der jedem Standardwerk der Numerik zu entnehmenden Methode, der kleinsten Quadrate sind. Weiterhin sind sogenannte Variationsverfahren mit Daten- und Glattheitstermen gebräuchlich (siehe z. B. [1, 6]).
- Die Anwendung entsprechender Modelle für die Auswertung von CMOS-Kamerabildern wurde bisher in der Literatur nicht beschrieben.
- Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit dem eine verbesserte digitale Bildverarbeitung von CMOS-Kamerabildern möglich ist.
- Ausgehend vom Oberbegriff des Anspruchs 1 wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, mit den im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen. Weiterhin wird die Aufgabe ausgehend vom Oberbegriff des Anspruchs 9 erfindungsgemäß gelöst, mit den im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 9 angegebenen Merkmalen.

- Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung ist es nunmehr möglich, eine schnelle und direkte Auswertung von sich bewegenden Bildern mit hohen Kontrasten zu ermöglichen, ohne daß kapazitive Nachleuchteffekte zu einer verzögerten Auswertung führen. Es wird möglich, den aktuellen Photostrom ohne die kapazitiven Nachleuchteffekte, die sich aus physikalischen Gründen nicht vermeiden lassen, auszuwerten. Es wird weiterhin möglich, hohe dynamische Änderungen von hell nach dunkel (hoher Kontraste) z. B. in Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zu rekonstruieren. Es wird möglich, Intensitäten mit minimierten Einflüssen des Nachleuchtens quantitativ auszuwerten.
- 15 Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Im Folgenden soll die Erfindung beispielhaft beschrieben werden.

20

Der Zusammenhang zwischen Kapazitäten, Photostrom und Bilddaten läßt sich für bewegte Objekte mit Hilfe einer in den Grauwerten linearen partiellen Differentialgleichung (1) darstellen, die wie folgend formuliert werden kann:

25

$$\frac{dg(x, y, t)}{dt} = c(x, y, t)g(x, y, t) + q(x, y, t) \quad (1)$$
$$\Leftrightarrow \frac{\partial g}{\partial x} u_x + \frac{\partial g}{\partial y} u_y + \frac{\partial g}{\partial t} - c(x, y, t)g(x, y, t) - q(x, y, t) = 0$$

Dabei gilt:

g = Grauwert der Bildfolge

c = Abklingkonstante (normalerweise negativ)

q = interessierender Quellterm (Licht)

u = lokale (Objekt-)Verschiebung $u=(dx/dt, dy/dt)$

Der Grauwert g der Bildfolge stellt die von der CMOS-Kamera direkt gelieferten, unkorrigierten Bilddaten dar. Sie sind das eigentliche Ausgangssignal. Unter der Bezeichnung Ausgangssignalwert ist im Folgenden das gesamte durch den Photonenstrom erzeugte Meßsignal g zu verstehen.

Die Abklingkonstante c ist der physikalische Parameter, der der Entladungsgeschwindigkeit der Kapazitäten in der CMOS-Kamera entspricht. Die aus der Kapazität zwischen den Auslesevorgängen abgeflossene Ladungsmenge wird durch den Ausdruck $c*g$ angegeben.

Der Quellterm q stellt die zum Zeitpunkt t zum Photostrom g hinzukommende Ladung dar. Damit ist q das interessierende Zielsignal.

Durch Subtraktion des Terms $c*g$ von der zeitlichen Änderung des Ausgangssignalwerts g kann der aktuelle Photostrom ohne kapazitive Nachleuchteffekte, nämlich der Quellterm q , der im Folgenden als Zielsignalwert bezeichnet wird, bestimmt werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Parameterschätzung

durchgeführt wird. Dieser Verfahrensschritt ist für Bilddaten mit hohen Kontrasten besonders geeignet, da hier Nachleuchteffekte relevant sind. Diese Bereiche lassen sich schnell und einfach detektieren, beispielsweise mittels des in [1] beschriebenen lokalen Kontrastmaßes, gefolgt von einer Schwellwertsegmentierung. Beschränkt man die Parameterschätzung auf diese Bereiche, so kann eine erhebliche Beschleunigung der Berechnung erreicht werden.

10 Aus der Literatur [3] ist die „total least squares“ (TLS) Methode für die allgemeine Parameterschätzung in partiellen Differentialgleichungen dieses Typs bekannt. Sie eignet sich beispielsweise dazu, diese Parameterschätzung durchzuführen. Auch andere, zum Teil oben ge-
15 nannte, bekannte Parameterschätzverfahren wie z. B. die „ordinary least squares (OLS)“ oder die „Mixed OLS-TLS“ und/oder Variationsmethoden sind für diese Schätzung geeignet.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens
20 läßt sich der Quellterm q mit Hilfe einer Parameterschätzung wie z. B. durch die Methode der „total least squares“ [3] aus den originalen Ausgangssignalwerten bestimmen. Hierzu wird die oben angegebene Differentialgleichung (1) verwendet. Aus dem Ausgangssignal g
25 werden dabei mittels diskreter Faltungen mit Ableitungskernen die raum-zeitlichen Ableitungen von g bestimmt. Diese und alle bereits z. B. aus Kalibrierschritten oder Aufnahmebedingungen bekannten Parameter werden in (1) eingesetzt. Aus dem so entstandenen Gleichungssystem wird $q(x, y, t)$ per Parameterschätzung er-
30 mittelt.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß die Abklingkonstante c ebenfalls durch Parameterabschätzung bestimmt werden kann.

- 5 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß die Abklingkonstante c durch vorherige Kalibration der CMOS-Kamera bestimmt werden kann. Sie muß dann nicht mehr durch Parameterschätzung bestimmt werden. Dadurch wird eine Beschleunigung des Verfahrens ermöglicht. Die Abklingkonstante c ist unter genügend konstanten Betriebsbedingungen eine nur von der Kamera abhängige, zeitlich nicht variable Größe, d.h. $c = c(x, y)$. Bei guter Homogenität der Pixel ist $c = \text{const}$. Die Abklingkonstante c
- 10 läßt sich daher auch offline in einem Kalibrierungsschritt berechnen.
- 15

- Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß die Objektbewegung u ebenfalls durch Parameterschätzung bestimmt werden kann. Bereits bekannte Objektbewegungen müssen nicht geschätzt werden. Die Parameter u_x und u_y können dann in die Differentialgleichung (1) eingesetzt werden. Die Parameterschätzung wird dadurch vereinfacht und beschleunigt.
- 20

- 25 Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß das erfindungsgemäße Verfahren mit Hilfe von FPGA's (Field Programmable Gate Arrays) implementiert wird. Beschränkt man die Ausgangssignalwerte auf nicht zu große Bildausschnitte, so wird

es möglich, Bildraten von mehreren Bildern pro Sekunde zu erreichen.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur
5 digitalen Bildverarbeitung in CMOS-Kamerabildern,
dadurch gekennzeichnet, daß sie für die Durchführung
des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist.

Literatur:

[1]: B. Jähne, Digitale Bildverarbeitung, 4. Aufl.,
Springer, 1997.

[2]: B. Jähne, H. Haußecker, P. Gleißler (EDS.) Hand-
book of Computer Vision and Applications, Volume 1.
Sensors and Imaging, Academic Press, 1999.

[3]: Horst W. Haußecker and David J. Fleet, Computing
Optical Flow with Physical Models of Brightness Varia-
tion IEEE Trans. PAMI, Vol. 23, No. 6, pp 661-673, June
2001.

[4]: T. Seiffert, Meßverfahren und Kenngrößen zur Beur-
teilung des dynamischen Kontrastaufklärungsvermögens
10 elektronischer Bildaufnehmer, Diplomarbeit, Universität
Karlsruhe (TH), 2001.

[5]: C. Garbe, Measuring Heat Exchange Processes at the
Air-Water Interface from Thermographic Image Sequence
15 Analysis, Doktorarbeit, Universität Heidelberg, 2001.

[6]: J. Weickert und C. Schnörr, Variational Optic Flow
Computation with a Spatio-Temporal Smoothness Con-

straint, Technical Report 15/2000 Computer Science Se-
ries, Juli 2000.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur digitalen Bildverarbeitung in CMOS-Kamerabildern,
dadurch gekennzeichnet,
5 daß die zeitlichen Änderungen der Ausgangssignalwerte g sich aus dem Term $c \cdot g$ und dem Quellterm q zusammensetzen und die Berechnung der Zielsignalwerte q die Subtraktion des Terms $c \cdot g$ von der zeitlichen Änderung des Ausgangssignalwerts g der Bild-
10 daten umfaßt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß für Bereiche von Bilddaten mit hohen Kontrasten eine Parameterschätzung durchgeführt wird.
- 15 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Parameterschätzung die „total least squares“ (TLS), „ordinary least squares“ (OLS), „Mixed OLS-TLS“ und/oder Variationsmethoden verwendet werden.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Abklingkonstante c und/oder die Objektverschiebung u durch Parameterschätzung aus den Bild-
25 daten bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Abklingkonstante c durch Kalibration der Kamera bestimmt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
5 daß die Differentialgleichung (1)

$$\frac{dg(x, y, t)}{dt} = c(x, y, t)g(x, y, t) + q(x, y, t)$$
$$\Leftrightarrow \frac{\partial g}{\partial x}u_x + \frac{\partial g}{\partial y}u_y + \frac{\partial g}{\partial t} - c(x, y, t)g(x, y, t) - q(x, y, t) = 0$$

mit

g = Grauwert der Bildfolge

u = Objektverschiebung (Verschiebungsvektorfeld)

c = Abklingkonstante

q = interessierende Quellterm (Licht)

verwendet wird.

10

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß bekannte Objektbewegungen u_x und u_y direkt in
die Differentialgleichung (1) eingesetzt werden.

- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß Field Programmable Gate Arrays (FPGA's) imple-
mentiert werden.

- 20 9. Vorrichtung zur digitalen Bildverarbeitung in CMOS-
Kamerabildern,
dadurch gekennzeichnet,
daß sie für die Durchführung des Verfahrens gemäß
Anspruch 1 bis 8 geeignet ist.